

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE PARA DETERMINAÇÃO DAS CURVAS COTA x ÁREA x VOLUME DO AÇUDE ITANS, LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE CAICÓ, RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL.

Lucas Amorim de Sá¹

Universidade de Brasília – UnB
Especialização em Geoprocessamento Ambiental

RESUMO

Visto a quantidade de reservatórios existentes no Brasil e a importância dos mesmos em termos de benefícios à sociedade, tem-se a necessidade de instituir gestão e monitoramento contínuo e racional desse recurso. Uma das principais ferramentas para o monitoramento de reservatórios são as curvas cota x área x volume (CAV), que fornecem a área e o volume do reservatório, dado o nível em que o mesmo se encontra. A determinação das curvas CAV de um reservatório é feita convencionalmente por meio de levantamento batimétrico, entretanto, ainda são poucos os reservatórios que possuem levantamentos batimétricos, principalmente entre aqueles ligados apenas ao abastecimento de água para população. Neste documento, é apresentada uma metodologia para determinação das curvas CAV de reservatórios de pequeno porte, bastante comuns na região semiárida brasileira, utilizando imagens de satélite gratuitas e dados de monitoramento de nível d'água. Para a validação da metodologia proposta, utilizou-se o açude Itans, localizado no município de Caicó no estado do Rio Grande do Norte, que foi objeto de levantamento batimétrico e aerofotogramétrico no ano de 2017.

PALAVRAS-CHAVE: Curva cota x área x volume; Sensoriamento Remoto; Batimetria.

ABSTRACT

Considering the number of reservoirs in Brazil and their importance in terms of benefits to society, there is a need for continuous resource management and monitoring of this resource. One of the main tools for the monitoring of reservoirs is their level x area x volume (LAV) curves, which provides area and volume of a given reservoir for a specific level of reservoir. The determination of the LAV curves of a reservoir is based on the bathymetric survey, however, there are few reservoirs that have bathymetric surveys, mainly those intended for water supply of population. This document presents a methodology for the determination of the LAV curves of small reservoirs, quite common in the Brazilian semi-arid region, using freely available satellite images and data of water levels. For validation of the proposed methodology, the bathymetric and aerophotogrammetric surveys from 2017 and over the Itans dam, located in the Caicó municipality, state of Rio Grande do Norte, was used.

KEYWORDS: Curve dimension x area x volume; Remote sensing; Bathymetry.

1. INTRODUÇÃO

Um reservatório formado por um barramento artificial de um corpo d'água tem a função de armazenar a água em algum ponto ao longo da sua trajetória. As finalidades desse armazenamento podem ser as mais diversas, tais como o abastecimento da população, geração de energia hidrelétrica, irrigação, navegação, controle de cheias, recreação e usos indiretos. Segundo o relatório pleno de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2017, lançado pela Agência Nacional de Águas (ANA), o Brasil possuía, em 2016, cerca de 20 mil reservatórios artificiais. O represamento de

¹ Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo

água no país foi intensificado a partir de 1950, com destaque para os grandes reservatórios destinados à geração de energia elétrica.

Dada a quantidade de reservatórios existentes e a importância dos mesmos em termos de benefícios à sociedade, tem-se a necessidade de instituir gestão e monitoramento contínuo e racional desse recurso, tanto quantitativamente quanto qualitativamente. Uma das principais ferramentas para o monitoramento e gestão de reservatórios são as suas curvas cota x área x volume (CAV). As curvas CAV, aliadas ao monitoramento do nível d'água, fornecem o volume e a área de um reservatório em função do nível d'água no momento de medição.

A determinação das curvas CAV de um reservatório é feita convencionalmente por meio de levantamentos batimétricos. Tais levantamentos aferem as profundidades dos reservatórios por meio de sonares batimétricos, chamados de ecobatímetros, que emitem sinais acústicos que são refletidos quando atingem as superfícies de fundo. O tempo entre a transmissão do pulso e o retorno do eco é o tempo em que o som leva para se propagar da fonte (transdutor) até o assoalho (fundo) e retornar para os hidrofones (receptores do sinal de retorno). Conhecendo esse tempo e a velocidade que o som se propaga na água, pode-se calcular a espessura da coluna d'água. No caso de o levantamento batimétrico ser realizado em um momento que o reservatório não se encontra cheio, a área acima do nível d'água é mapeada utilizando técnicas de cartografia e/ou topografia.

Os reservatórios que possuem levantamentos batimétricos são escassos, principalmente entre aqueles destinados ao abastecimento de água para população, geralmente de menor porte e localizados em regiões pouco desenvolvidas. Embora os custos de levantamentos batimétricos tenham caído significativamente nos últimos anos, os preços variam entre R\$ 1.000,00 e R\$ 50.000,00 por quilometro quadrado, dependendo principalmente da localização, tamanho e acesso ao reservatório. Reservatórios menores e localizados em regiões pouco desenvolvidas possuem uma relação custo por área levantada bastante elevada devido ao custo de mobilização da equipe e dos equipamentos. Além disso, outras características, como baixa profundidade e condições climáticas na região podem aumentar ainda mais essa relação.

Devido à grande quantidade de reservatórios no Brasil e ao elevado custo dos levantamentos batimétricos, principalmente nas regiões menos desenvolvidas do nordeste brasileiro, a utilização de imagens de satélite para a determinação das curvas CAV surge como uma alternativa barata para a determinação do volume acumulado nesses reservatórios. Neste documento, é apresentada uma metodologia para determinação das curvas CAV de reservatórios de pequeno porte, bastante comuns na região semiárida brasileira, utilizando imagens de satélite gratuitas e dados de monitoramento de nível d'água. Para validação da metodologia proposta, utilizaram-se os levantamentos batimétrico e aerofotogramétrico de 2017, conduzido sobre o açude Itans, localizado no município de Caicó no estado do Rio Grande do Norte.

2. ÁREA DE ESTUDO

O açude Itans, localizado no município de Caicó, estado do Rio Grande do Norte, foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em 1935, barrando-se

o rio Barra Nova (Figura 1). Foi o primeiro reservatório construído para abastecimento da população no interior do Rio Grande do Norte.



Figura 1. Localização do açude Itans no município norte-riograndense de Caicó.

O açude Itans foi escolhido para avaliar a metodologia proposta, pois, recentemente, esse açude foi objeto de levantamento batimétrico e aerofotogramétrico como parte de um estudo contratado pela Agência Nacional de Águas (ANA) para determinação das curvas CAV de alta qualidade. Este trabalho faz parte de um conjunto de ações em desenvolvimento envolvendo parceria entre a ANA e os órgãos estaduais, gestores de recursos hídricos, no intuito de melhorar significativamente os dados e informações qualitativas e quantitativas dos recursos hídricos disponíveis para o consumo humano, dessedentação animal e demais usos.

Aqui, é importante lembrar que qualquer mapeamento, seja ele por tecnologia de batimetria, topografia ou aerofotogrametria, possui incertezas. Pode-se dizer que o levantamento realizado para o açude de Itans com batimetria multifeixe da área molhada e perfilamento a laser (LIDAR) da área seca, com densidade aproximada de 2 pontos por metro quadrado e que resultou em um modelo digital do terreno com 1 metro de resolução espacial (Figura 2). As curvas CAV podem ser consideradas como “verdade de campo”, quando comparado ao modelo digital do terreno e às curvas CAV (Figura 3).

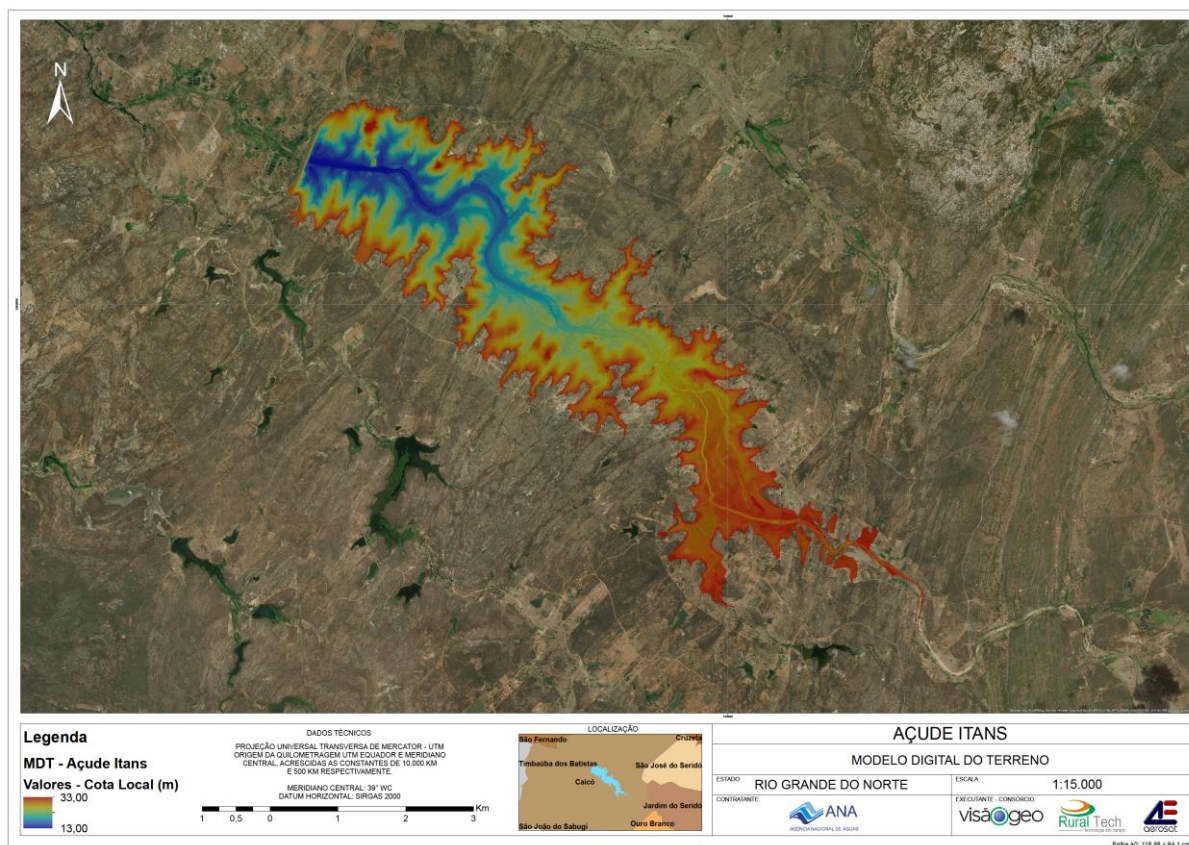


Figura 2. Modelo digital do terreno de Itans (Batimetria + LIDAR) / Verdade de Campo.

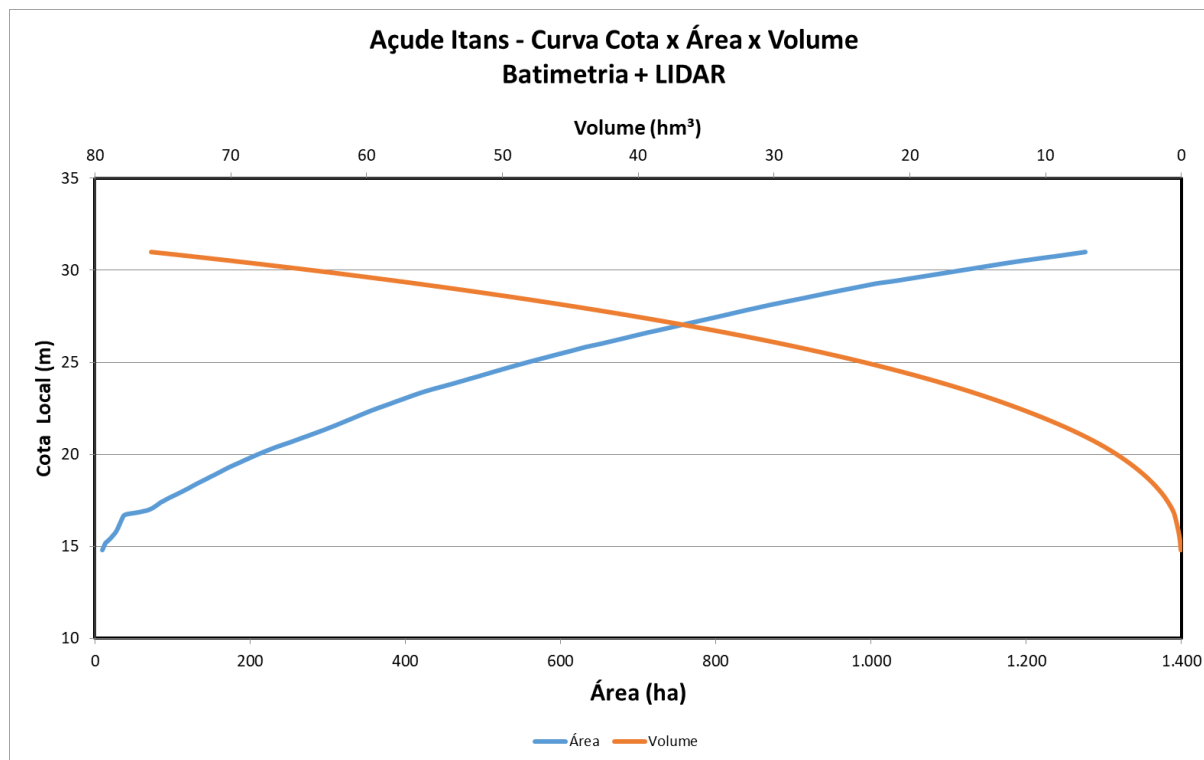


Figura 3. Curvas Cota x Área x Volume de Itans (batimetria + LIDAR) / verdade de campo.

3. METODOLOGIA

3.1 Dados de nível d'água

O nível d'água do açude Itans é monitorado diariamente e foi obtido por meio do Sistema de Acompanhamento de Reservatório (SAR). Este portal web criado pela ANA fornece informações hidrológicas coletadas instantaneamente de vários operadores de reservatórios em todo o Brasil como o Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS), Companhia de Desenvolvimento do Vale São Francisco (CODEVASF), dentre outros.

Com estes dados, foi possível selecionar períodos em que o açude se encontrava em menor ou maior volume, sendo possível escolher momentos em que o açude estava com apenas 1% de sua capacidade até momentos em que o açude estava com 100% de sua capacidade total. O monitoramento de nível d'água do açude é feito, tendo como referência, o zero da régua, tratando-se portanto de cotas locais ao invés de cotas no Sistema Geodésico Brasileiro. Este fator não influencia no cálculo de volume e área do reservatório.

3.2 Obtenção de imagens de satélite gratuitas de diferentes datas para uma mesma área

Foram utilizadas imagens dos satélites RESOURCESAT-1, RESOURCESAT-2 e CBERS-2, obtidas do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A resolução espacial das imagens dos satélites RESOURCESAT-1 e RESOURCESAT-2 é de 24 metros e do satélite CBERS-2, de 20 metros. As bandas selecionadas para todos os satélites foram as faixas espectrais referentes ao verde (G) e ao infravermelho próximo (NIR). No caso dos satélites RESOURCESAT-1 e RESOURCESAT-2, as bandas do verde e do infravermelho próximo compreendem a faixa entre 0,52 – 0,59 μm e 0,77 – 0,86 μm , respectivamente; para o satélite CBERS-2, correspondem à faixa 0,52 – 0,59 μm para o verde e 0,77 – 0,89 μm para o infravermelho próximo.

Foram selecionadas apenas imagens sem nuvens sobre o açude Itans e nos períodos de interesse, totalizando 10 imagens (Quadro 1).

Quadro 1. Imagens selecionadas e nível d'água no dia do imageamento.

IMAGEM	DATA	SATELITE	SENSOR	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	Cota (m)	Volume (%)	Data da Medição
R2LS329AUG2017337080STUC00GODP	29/08/2017	ResourceSat-2	LISS3	24	15,71	1,07	29/08/2017
R2LS320MAY2017336080STUC00GODP	20/05/2017	ResourceSat-2	LISS3	24	16,81	1,70	20/05/2017
R2LS318APR2015337081STUC00GODP	18/04/2015	ResourceSat-2	LISS3	24	19,38	8,80	18/04/2015
R2LS301NOV2014337080STUC00GODP	01/11/2014	ResourceSat-2	LISS3	24	20,87	9,71	01/11/2014
P6_LIS3_20130716_336_081_L2	16/07/2013	ResourceSat-1	LISS3	24	23,41	20,86	16/07/2013
P6_LIS3_20130105_336_081_L2	05/01/2013	ResourceSat-1	LISS3	24	25,27	32,67	04/01/2013
P6_LIS3_20121006_337_081_L2	06/10/2012	ResourceSat-1	LISS3	24	26,50	43,13	06/10/2012
P6_LIS3_20120510_336_081_L2	10/05/2012	ResourceSat-1	LISS3	24	27,91	54,83	10/05/2012
P6_LIS3_20111218_336_081_L2	18/12/2011	ResourceSat-1	LISS3	24	29,26	71,56	18/12/2011
CBERS_2_CCD1XS_20040311_148_107	14/02/2004	CBERS-2	CCD	20	31,15	100,00	17/02/2004

3.3 Recorte da área de Interesse e correção geométrica das imagens

Para diminuir o tempo de processamento, foi feito um recorte sobre a área de interesse utilizando o *software* ArcGIS 10.1. Esta etapa foi realizada para todas as imagens de maneira única, utilizando a opção *Batch* disponível para algumas ferramentas do *software*, no caso, a ferramenta utilizada foi a *Extract by Mask*.

Em seguida, utilizando o *software* ENVI 5.1, foi feito o georreferenciamento de todas as imagens, tomando, como referência, a imagem mais recente do satélite ResourceSat-2 de outubro de 2017. Para algumas imagens, foi possível realizar o georreferenciamento utilizando a macro *Image Registration Workflow*, disponível no ENVI. Para as imagens que a macro não apresentou bons resultados, o georreferenciamento foi feito manualmente, selecionando-se pontos em comum entre as imagens.

3.4 Cálculo do NDWI

Para a definição do limiar de separação entre a lâmina d'água e os demais alvos na imagem, foi calculado o Índice Normalizado de Diferença de Água (*Normalized Difference Water Index – NDWI*) para cada data selecionada. Esse índice é dado pela razão entre a diferença e a soma das bandas do verde e do infravermelho próximo, conforme a (Equação 1)**Erro! Fonte de referência não encontrada..** Esse procedimento foi realizado utilizando o *software* ArcGIS 10.1.

$$NDWI = (G - NIR)/(G + NIR) \quad (1)$$

Os resultados são as imagens com valores variando entre -1 e 1, sendo que os valores positivos correspondente à lâmina d'água e os valores negativos correspondentes aos demais alvos (Figura 4).

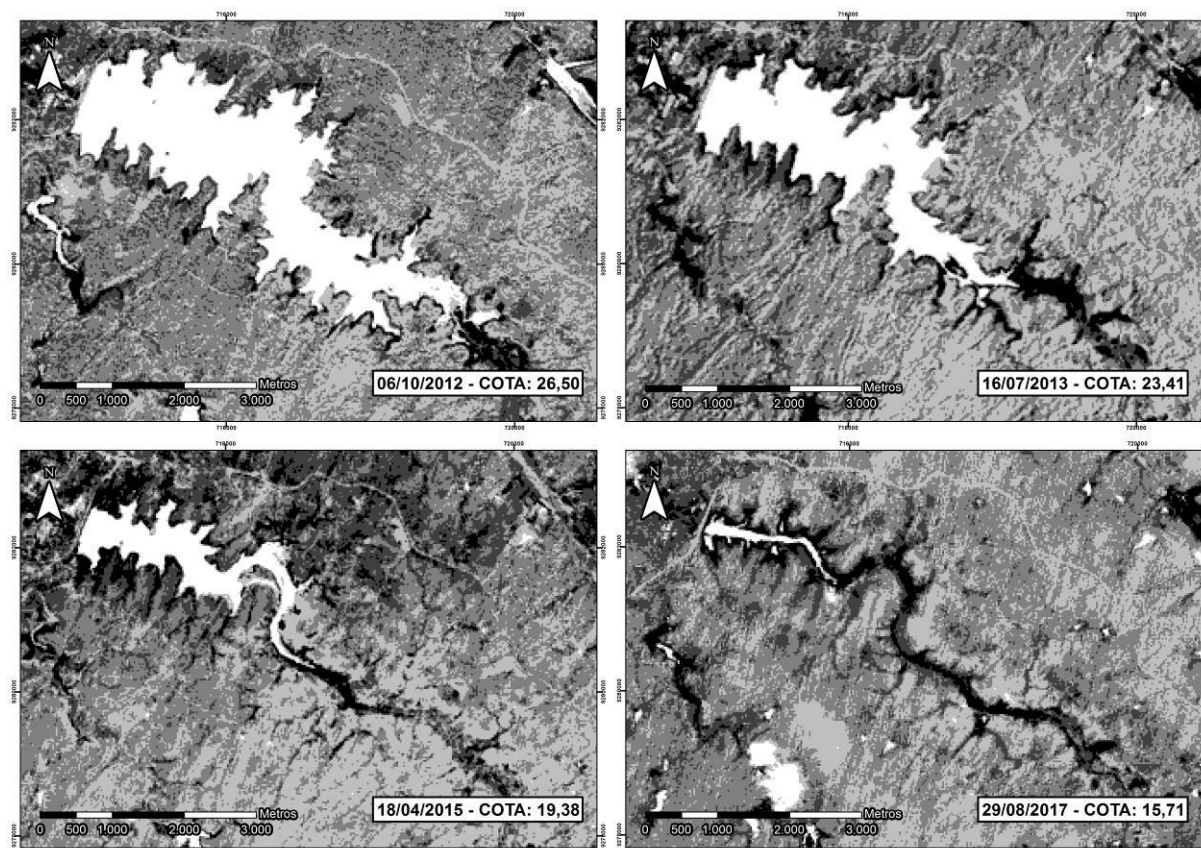


Figura 4. Resultado do NDWI para diferentes datas e cotas.

3.5 Classificação dos espelhos d'água do açude nas diferentes cotas

Com as imagens normalizadas para o NDWI, foi feita uma reclassificação por meio do software ArcGIS 10.1 em três etapas: inicialmente alterou-se apenas a classificação da simbologia das imagens utilizando o método manual em duas classes (maiores e menores que zero). Em seguida, utilizando-se a ferramenta *reclassify*, definiram-se os valores positivos como “corpo hídrico” e os negativos como “outros”. Por último, utilizando as ferramentas *feature to polygon* e *feature to line*, obteve-se a linha referente ao nível d'água do açude na data da imagem. Esse processo foi feito de maneira semiautomática no software ArcGIS 10.1, porém, após término da linearização, foi necessário realizar alguns ajustes devido à existência de pequenas nuvens, excesso de vapor na atmosfera ou algum outro fator que prejudicou a linearização da interface água/outros elementos.

3.6 Elaboração do Modelo Digital de Terreno e Determinação das Curvas Cota x Área x Volume

O produto da linearização do nível d'água das imagens são polilinhas que se atribuídas às cotas do açude na data da imagem, tornando-se curvas de nível que contornam todo o açude. A interpolação dessas curvas de nível para a elaboração do Modelo Digital do Terreno (MDT) foi realizada no software ArcGIS Pro, por meio da ferramenta *Topo to Raster*, que é um método desenvolvido para a criação de modelos digitais de elevação (MDE), especialmente os hidrológicos.

Com o MDT gerado, foi possível calcular o volume no software ArcGIS 10.1, através da ferramenta *Surface Volume*. Essa ferramenta calcula a área projetada, a área da superfície e o volume de uma superfície relativo a uma altitude base ou a um plano de referência. A superfície pode ser um raster, um Triangulated Irregular Networ (TIN), ou outra informação de elevação. Os resultados são gerados em forma de texto.

É necessário determinar se os cálculos serão realizados acima ou abaixo do plano de referência. Quando se define que os cálculos serão realizados abaixo do plano de referência, a área projetada e o volume são calculados no intervalo entre a superfície do MDT e a altitude desejada e correspondem a área e o volume do açude. Para que o volume e a área de diferentes cotas sejam calculados em um único processamento, foi utilizada a ferramenta *Model Builder* que permite criar um fluxograma de atividades a serem realizadas com parâmetros pré-determinados. Dessa forma, foram obtidos os dados necessários para a elaboração da tabela e posteriormente das curvas CAV do açude Itans.

Quadro 2. Tabela cota x área x volume (resumida).

Cota Local (m)	Área (ha)	Volume (hm³)
31,00	1.082,71	69,15
30,00	978,33	58,90
29,00	902,46	49,50
28,00	819,76	40,87
27,00	701,03	33,33
26,00	595,96	26,85
25,00	493,67	21,39
24,00	428,83	16,79
23,00	376,35	12,77
22,00	328,47	9,25
21,00	266,56	6,24
20,00	190,18	4,10
19,00	151,59	2,37
18,00	99,80	1,13
17,00	44,87	0,38
16,00	15,66	0,13
15,00	5,41	0,02

4 RESULTADOS

A Figura 5. mostra as curvas de nível obtidas das imagens de satélite. Foi possível obter curvas de nível desde as cotas mais baixas até as cotas mais altas do açude, sendo a maior diferença de nível entre duas curvas adjacentes de 2,57 metros. Observou-se também que, devido à característica do relevo no açude Itans, que é pouco encaixado, ou seja, apresenta baixa declividade, as curvas não se cruzam mesmo vista a baixa resolução das imagens utilizadas, com exceção da região do barramento que naturalmente apresenta alta declividade. Para a região do barramento, foi necessário fixar a curva mais alta (nível 31,00 m) e a curva mais baixa (nível 15,71 m) e editar manualmente as demais baseado na declividade calculada utilizando as duas curvas extremas.

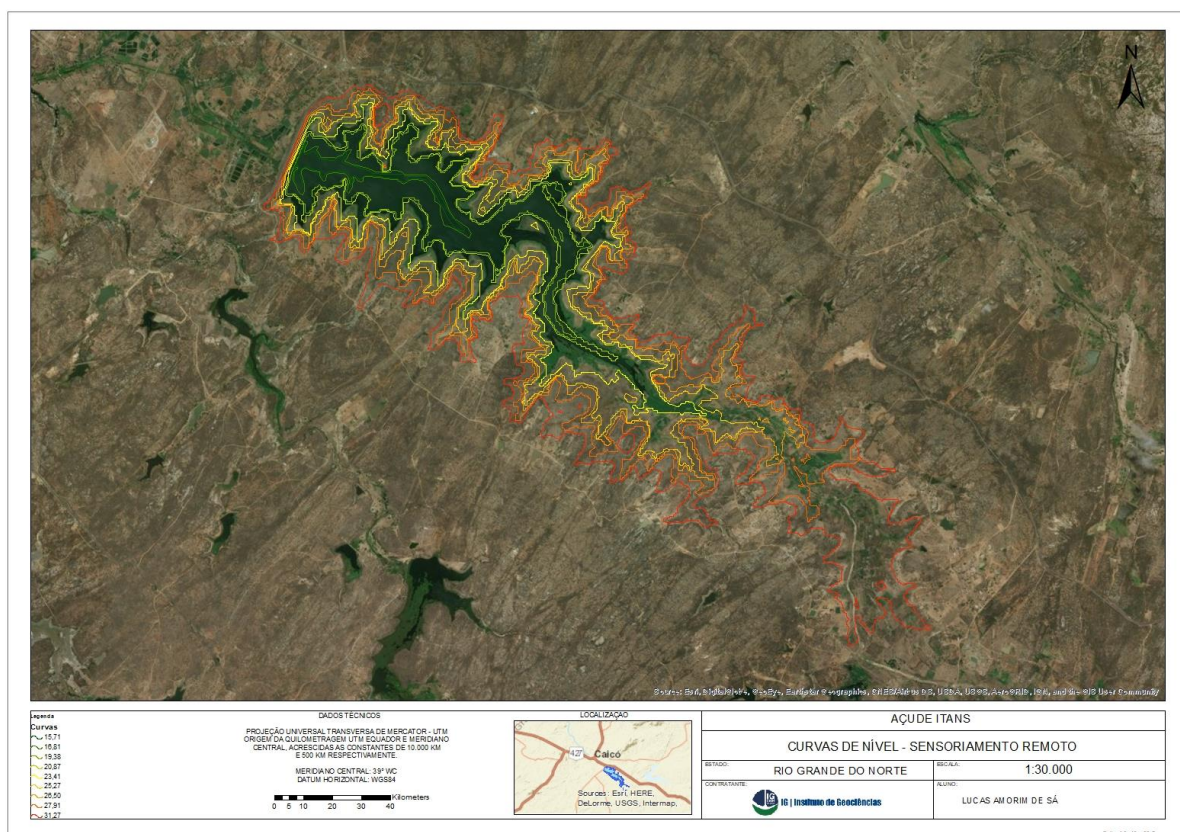


Figura 5. Curvas de nível obtidas por sensoriamento remoto.

As curvas CAV, resultado da interpolação das curvas de nível obtidas, é mostrada na Figura 6 e uma comparação entre as curvas obtidas neste trabalho e as curvas reais (verdade de campo) é apresentada na Figura 7.

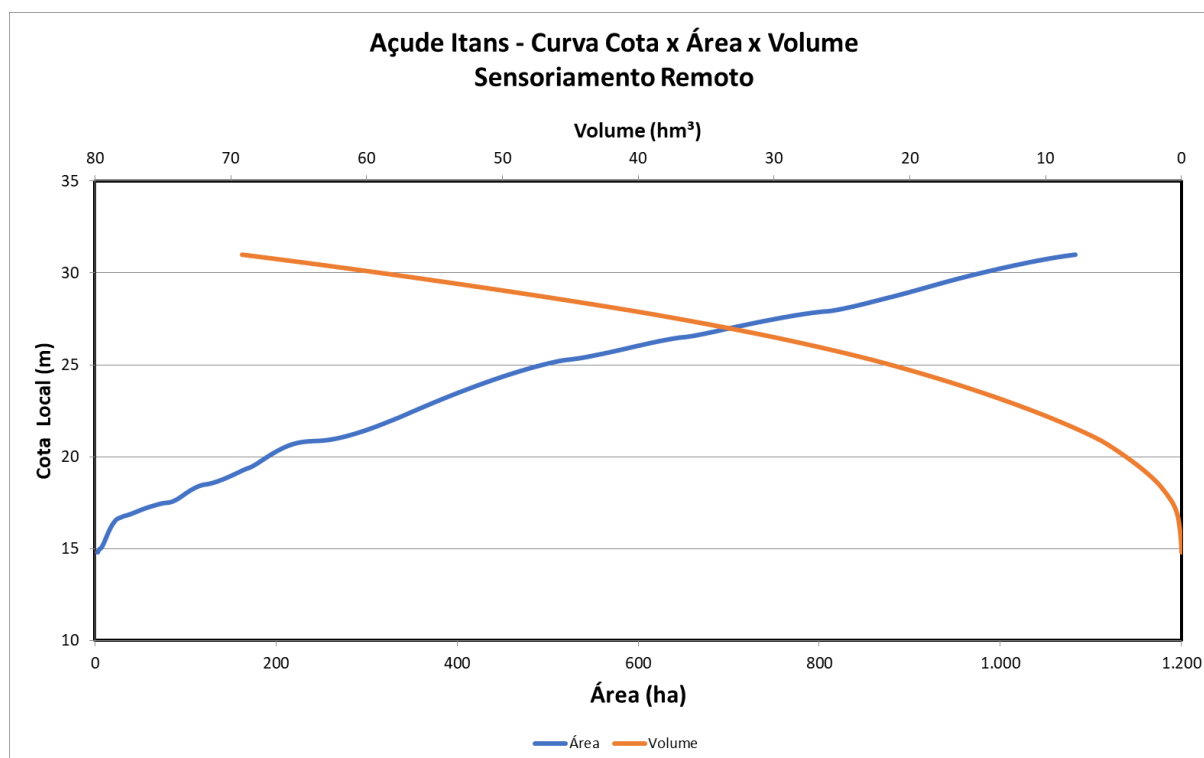


Figura 6. Curvas cota x área x volume do açude Itans/RN.

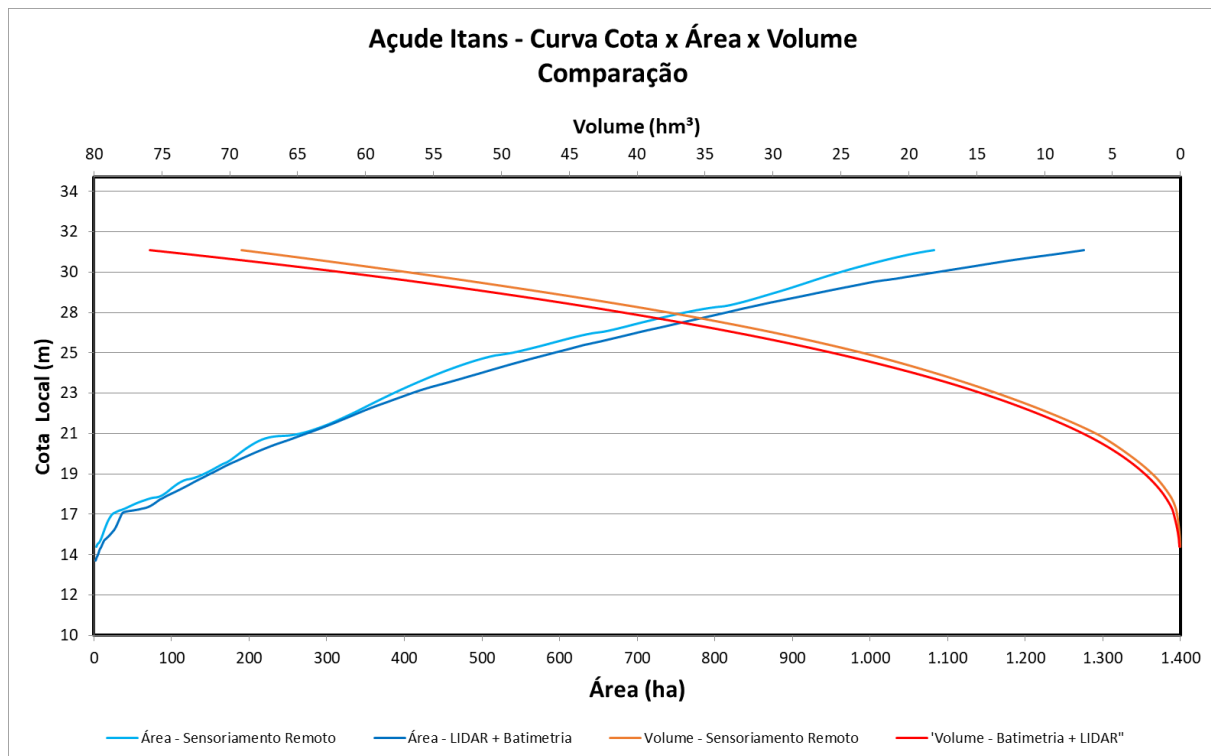


Figura 7. Comparação das curvas cota x área x volume do açude Itans/RN.

O volume total do reservatório, correspondente à cota 31,00 m, obtido por sensoriamento remoto, foi de 69,15 hm³, 8,8% menor que o volume obtido por batimetria e aerolevantamento que foi de 75,86 hm³. O valor da área total do reservatório, correspondente também à cota 31,00 m, obtido por sensoriamento remoto, foi de 1.082,71 ha, 15,14% menor que a área obtida por batimetria e aerolevantamento, que foi de 1.275,84 ha. Para as demais cotas, as curvas CAV obtidas por sensoriamento remoto também subestimaram, porém, em menor grau, o volume e a área do açude.

Comparando os dois modelos digitais de terreno, obtidos por meio do sensoriamento remoto e por meio de batimetria e cartografia, percebe-se que a diferença negativa do volume se dá principalmente na região do barramento, que por se tratar de uma área de alta declividade, não foi bem representada pelas imagens de baixa resolução. Ainda comparando os dois modelos, percebe-se que a diferença negativa da área se deu principalmente na região de montante, onde as curvas obtidas por sensoriamento remoto terminam precocemente quando comparadas as curvas de referência, o que ocorre devido à baixa profundidade nessa região.

Foi possível então, a partir de imagens de satélite de baixa resolução disponíveis gratuitamente e dados de monitoramento de nível d'água já existentes, aliados a ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, determinar as curvas CAV de um reservatório de pequeno porte com diferenças abaixo de 10 % para o volume.

Conclui-se que, mesmo utilizando imagens de baixa resolução como são casos dos satélites RESOURCESAT 1 e 2, CBERS, LANDSAT e outros, podemos estimar o volume de água em nossos reservatórios com relativa precisão. Este trabalho obviamente não substitui a necessidade de realização de levantamentos batimétricos nos reservatórios do país, porém, traz a possibilidade de

se conhecer os volumes de nossos reservatórios com custos bem menores, quando comparados ao levantamento batimétrico.

5 REFERÊNCIAS CONSULTADAS

COLLISCHONN, B., & CLARKE, R. T. (2016). Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. *RBRH*, 21(4), 719-727.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UnB/CNPq, 2012.

ALSDORF, D. E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D. P. Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics*, 45(2), p. 1-24, 2007.

SANTOS, F.A.; SILANS, A.; PORTO, R.; ALMEIDA, C. Estimativa e análise do volume dos pequenos açudes através de imagem de satélite e levantamento de campo na bacia hidrográfica do Açude Sumé. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. *Anais...* Porto Alegre: ABRH, 2009.

BORGES, R. O.; CAMARGO, F. F.; CAMPAGNOLI, F.; BAYER, M. Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat-8 para o monitoramento hidroviário. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), João Pessoa/PB. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2015.